

*Н. Б. Пугачева, Т. М. Быкова*  
Институт машиноведения УрО РАН,  
г. Екатеринбург  
*E-mail: tatiana\_8801@mail.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ УПРОЧНЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ РЕЖУЩЕЙ ПАРЫ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ЩЕЛЕВОГО ПЕРФОРАТОРА**

Исследовано состояние поверхности деталей режущей пары гидромеханического щелевого перфоратора после эксплуатации. Показана перспективность использования термодиффузионного борирования для поверхностного упрочнения деталей режущей пары гидромеханического перфоратора с последующей термической обработкой. Выбраны оптимальные режимы диффузионного борирования и последующей термической обработки для ножей из стали 6Х6В3МФС и осей из стали 4Х5МФС. Разработана технологическая инструкция процесса диффузионного борирования деталей режущей пары и последующей термической обработки.

*Ключевые слова:* покрытие, бориды, микротвердость, пластическая деформация, диффузия, линейный износ.

The condition of a surface of details of the cutting pair of the hydromechanical slot-hole puncher after operation is investigated. The prospects of using thermal diffusion boriding for superficial hardening of details of the cutting pair of the hydromechanical puncher with the subsequent heat treatment.

Optimal regimes boriding diffusion and subsequent heat treatment of steel for knives and axes 6H6V3MFS steel 4H5MFS. The technological instruction of process of diffusive boriding of details of the cutting vapors and the subsequent heat treatment is developed.

*Keywords:* coating, borides, microhardness, plastic deformation, diffusion, linear wear.

В связи с интенсификацией режимов эксплуатации машин и механизмов, повышением рабочих температур и давлений роль качества поверхности значительно возрастает. Надежность и долговечность деталей и узлов машин непосредственно связаны с качеством их поверхности, которое характеризуется геометрическими и физико-механическими параметрами. Это относится в первую очередь к рабочей поверхности, находящейся в процессе эксплуатации в контакте с другими твердыми поверхностями (подшипники качения и скольжения, втулки, зубчатые зацепления, режущий инструмент) или твердой, жидкой и газообразной средой (абразивные частицы, быстротекущий поток жидкости или газа). В условиях контактно

го нагружения при любых видах изнашивания детали и узлы машин выходят из строя не вследствие поломок, а по причине недопустимого изменения размеров и формы. В связи с этим структурное состояние и геометрические характеристики рабочих поверхностей машин и механизмов играют решающую роль в обеспечении их надежности и долговечности.

Борирование представляет собой наиболее эффективный метод поверхностного упрочнения деталей, эксплуатируемых в условиях повышенного износа, в том числе при повышенных температурах или в агрессивных средах. Боридные покрытия обладают максимально возможной при поверхностном упрочнении твердостью (около 2000 HV 0,5), износостойкостью (главным образом, абразивной), коррозионной стойкостью, окалинностью (до 800 °С) и теплостойкостью (до 900–950 °С) [2].

### Материалы и результаты испытаний

Традиционно для деталей режущей пары перфоратора использовали следующие материалы и методы поверхностного упрочнения для осей конструкционную сталь 18ХГТ с цементированным поверхностным слоем толщиной 2 мм и с высокой вязкостью сердцевины после цементации (рис. 1, *а*), для ножей инструментальную сталь У8 с диффузионным боридным покрытием (рис. 1, *б*). В процессе эксплуатации на оси оказываются динамические нагрузки от 6 до 14 т.

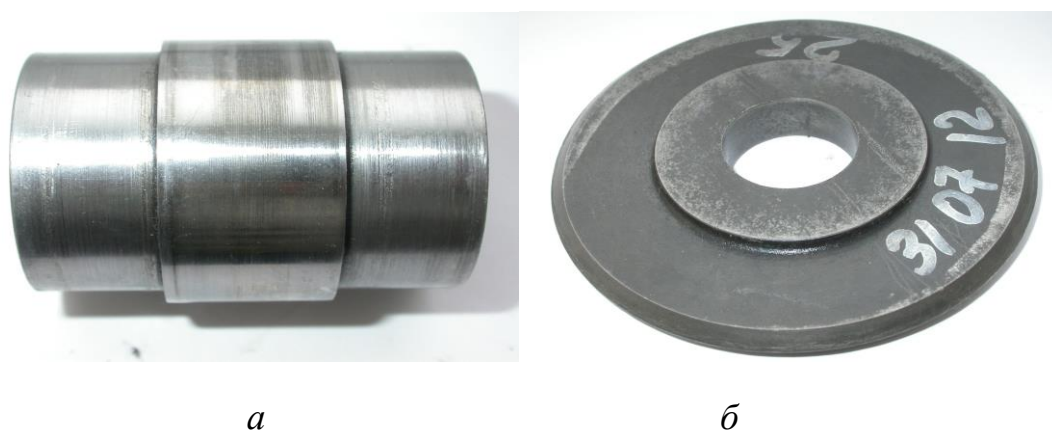
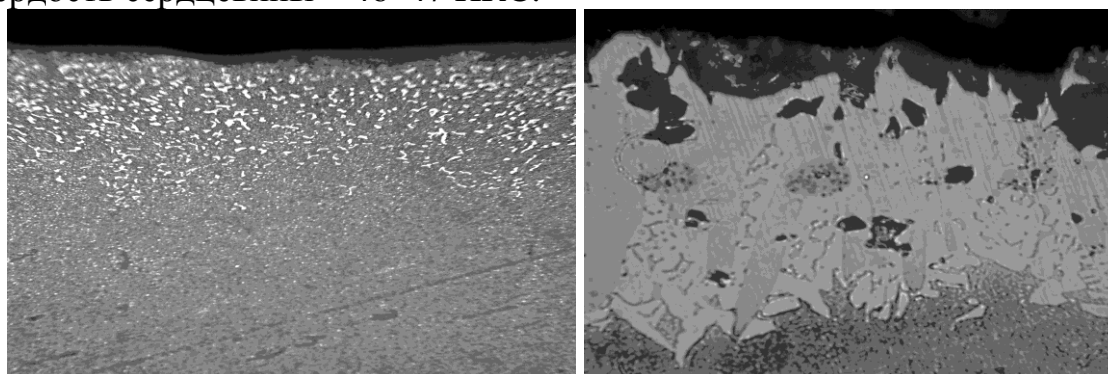


Рис. 1. Внешний вид цементированной оси из стали 18ХГТ (*а*), внешний вид ножа из стали У8 с борированной поверхностью (*б*)

Микротвердость цементованного слоя составила 970–985 HV 0,05, твердость сердцевины 36–37 HRC, что соответствует троосто-сорбитной структуре (рис. 2, *а*). Такое состояние упрочненного слоя обеспечивает высокую износостойкость поверхности оси и препятствует адгезионному схватыванию с материалом ножа при эксплуатации. Долговечность оси в этом случае будет определяться толщиной цементованного слоя, и когда он полностью разрушится в результате износа, вязкая сердцевина не выдержит высоких нагрузок.

На поверхности боридного покрытия на стали У8 расположены столбчатые зерна борида  $\text{FeB}$  (серая фаза на рис. 2, б), под ним – бориды  $\text{Fe}_2\text{B}$ . Микротвердость внешнего слоя боридов составила 1285 HV 0,05, твердость сердцевины – 46–47 HRC.



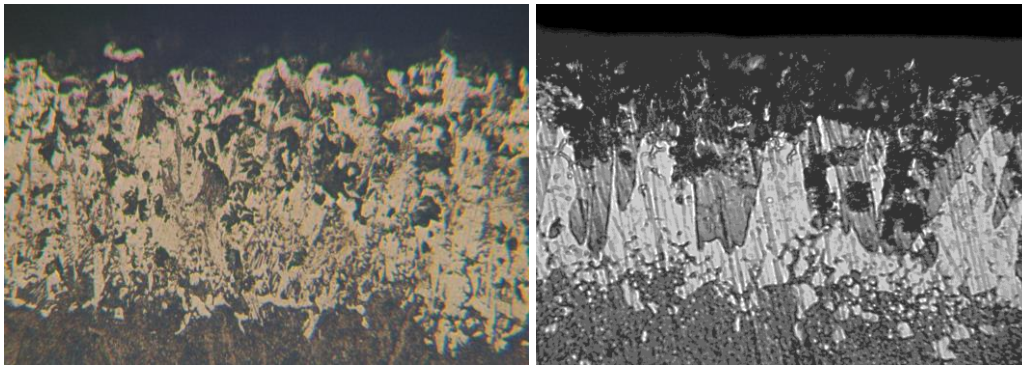
*а*

*б* X200

Рис. 2. Микроструктура цементованного слоя на оси из стали 18ХГТ (*а*), микроструктура боридного покрытия на ноже из стали У8 (*б*)

В большинстве случаев в процессе вскрытия буровой скважины происходил сильный износ с изменениями размеров ножей и значительное окисление их поверхности с образованием сыпучей окалины  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Повысить стойкость детали к окислению можно за счет легирования его элементами основы, главным образом хромом [2]. Поэтому в качестве материалов для деталей режущей пары гидромеханического щелевого перфоратора были рекомендованы легированные стали, содержащие хром в количестве не менее 5 масс.%. Например, для ножей подходит сталь марки 6Х6ВЗМФС, а для осей 4Х5МФС. После проведения полного цикла упрочняющей обработки (диффузионного борирования, закалки и отпуска) структура сердцевины представляет собой отпущенный мартенсит с твердостью 48HRC.

Исходя из фазового и химического состава боридного покрытия на стали марки 4Х5МФС и стали марки 6Х6ВЗМФС (рис. 3), можно ожидать, что боридное покрытие будет обеспечивать повышенную износостойкость ножа в течение всего времени, пока сохраняется на поверхности. Когда поверхностный слой столбчатых боридов железа будет изношен полностью, в работу вступает зона на границе сталь – покрытие, содержащая большое количество глобулярных боридов хрома, молибдена, вольфрама, ванадия. Таким образом, эффективная толщина покрытия увеличивается на толщину этой переходной зоны и составляет 0,25 мм. Толщина покрытий на осях и ножах составила 150–250 мкм, микротвердость – 1500–1600 HV 0,05.



*a*

*б*

Рис. 3. Микроструктура боридного покрытия на стали 4X5MFC (*a*), микроструктура материала ножа из стали 6X6B3MFC (*б*)

Если ограничиваться только проведением диффузионного борирования деталей режущей пары, при нагружении оси до 10 т наблюдали пластическое смятие зубьев ножа, ось также пластически деформировалась на участке контакта с ножом, происходил адгезионный износ. Проведение закалки ножей и осей после выполнения операции диффузионного борирования позволило получить весьма хорошие результаты: состояние поверхности деталей режущей пары сохранилось практически в исходном состоянии. Следует отметить, что последующий высокотемпературный нагрев под закалку немного увеличивает толщину покрытия и выравнивает концентрацию бора в нем, что весьма полезно с позиций улучшения эксплуатационных свойств.

### Список литературы

1. Гузанов Б. Н. Упрочняющие защитные покрытия в машиностроении : монография / Б. Н. Гузанов, С. В. Косицын, Н. Б. Пугачева. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН. 2003. 242 с.
2. Пугачева Н. Б. Влияние состава-основы на структуру и свойства диффузионных боридных покрытий / Н. Б. Пугачева, Т. М. Быкова, Е. Б. Трушина // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 4. С. 3–7.